

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU <sup>(11)</sup> **2 517 773** <sup>(13)</sup> C1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
(51) МПК  
[G01F 23/00 \(2006.01\)](#)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 07.12.2017)

(21)(22) Заявка: [2012151970/28](#), 04.12.2012(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
04.12.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.12.2012

(45) Опубликовано: [27.05.2014](#) Бюл. № 15(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2378666 C1, 10.01.2010. RU  
2390798 C1, 27.05.2010. RU 2288485 C1,  
27.11.2006; . US 20090261263 A1, 22.10.2009

Адрес для переписки:

620002, г.Екатеринбург, К-2, ул. Мира, 19,  
УрФУ, Центр интеллектуальной  
собственности, Т.В. Маркс

(72) Автор(ы):

Вохминцев Александр Сергеевич (RU),  
Вайнштейн Илья Александрович (RU),  
Спиридонов Дмитрий Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

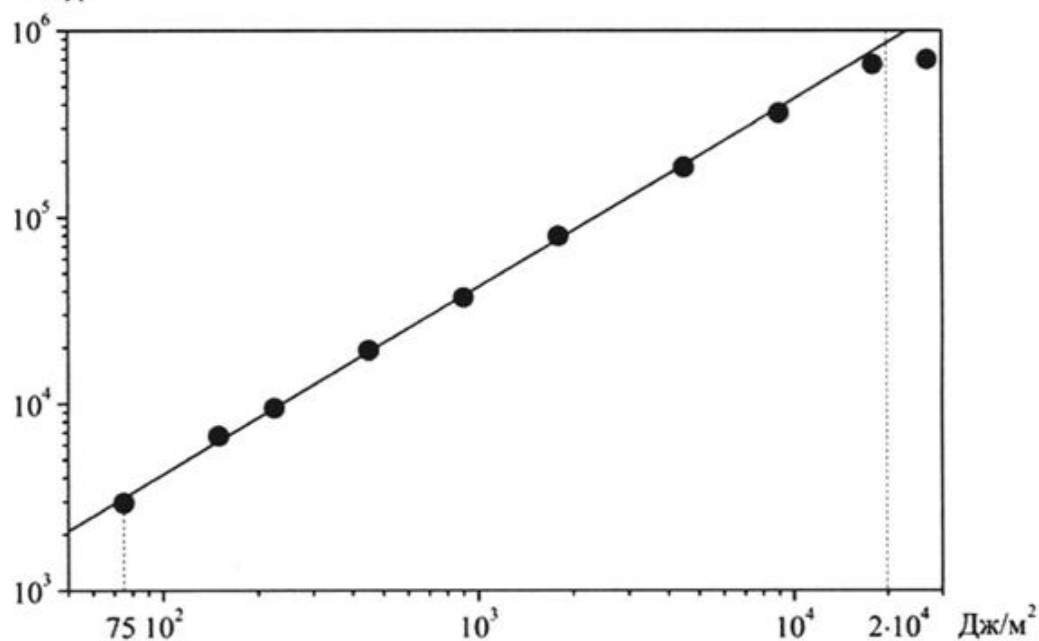
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н.  
Ельцина" (RU)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО  
УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЛИ БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ДЕТЕКТОРЕ НА ОСНОВЕ  
МОНОКРИСТАЛЛА НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

## (57) Реферат:

Изобретение относится к радиационной физике, а именно к способам определения поглощенной дозы ионизирующего ультрафиолетового или бета-излучения в детекторе на основе монокристаллического нитрида алюминия с использованием метода оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) в непрерывном режиме стимуляции. Способ определения поглощенной дозы ионизирующего ультрафиолетового или бета-излучения в детекторе на основе нитрида алюминия основан на стимуляции детектора оптическим излучением с длиной волны 470 и более нм, измерении интенсивности оптически стимулированной люминесценции детектора в диапазоне 260÷390 нм в течение времени стимуляции детектора оптическим излучением и определении площади под полученной кривой интенсивности оптически стимулированной люминесценции, при этом в качестве детектора на основе нитрида алюминия используют монокристаллический нитрид алюминия, перед стимуляцией детектора осуществляют измерение значения интенсивности затухающей фосфоресценции детектора в диапазоне 260÷390 нм, с использованием измеренного значения интенсивности затухающей фосфоресценции определяют площадь под кривой интенсивности затухающей фосфоресценции, действующей в течение времени стимуляции детектора оптическим излучением, затем определяют разницу величин площадей под кривой интенсивности оптически

стимулированной люминесценции и под кривой интенсивности затухающей фосфоресценции, а по указанной разнице величин площадей определяют значение искомой поглощенной дозы. Технический результат - повышение точности измерений поглощенной дозы, расширение области применения в твердотельной дозиметрии ионизирующих излучений детекторов на основе монокристаллов нитрида кремния. 3 ил. **отн.ед.**



Фиг.2

Изобретение относится к радиационной физике, а именно к способам определения поглощенной дозы ионизирующего ультрафиолетового или бета-излучения в детекторе на основе монокристаллического нитрида алюминия с использованием метода оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) в непрерывном режиме стимуляции, и может быть использовано в персональной, клинической, аварийной дозиметрии.

К настоящему времени просматривается перспективность применения керамического и наноструктурированного нитрида алюминия AlN в качестве базовой твердотельной среды для создания высокочувствительных детекторов ультрафиолетового или бета-излучения [L. Trinkler, L. Botter-Jensen and B. Berzina, Rad. Prot. Dos., 100, No. 1-4: 313-316 (2002)].

Известен способ определения поглощенной дозы ионизирующего ультрафиолетового излучения в твердотельном детекторе на основе керамического нитрида алюминия, основанный на стимуляции твердотельного детектора оптическим излучением галогеновой лампы или лазера с длиной волны 650 нм и измерении параметров дозиметрического сигнала твердотельного детектора в диапазонах 400 нм и 480 нм с использованием монохроматора [L. Trinkler, B. Berzina, D. Kasjan and L.-Ch. Chen, J. Phys.: Conf. Series, 93: 1 (2007)].

Недостатком известного способа является подверженность детектора на основе нитрида алюминия сильному федингу (около 40% после 24 часов хранения в темноте) за счет высвечивания дозиметрического сигнала в виде фосфоресценции. При использовании способа имеет место и нелинейность дозовой зависимости. Указанное снижает точность измерений поглощенной дозы и ограничивает применение таких детекторов в дозиметрии.

Ближайшим к предложенному изобретению является способ определения поглощенной дозы ионизирующего ультрафиолетового или бета-излучения в твердотельном детекторе на основе керамического нитрида алюминия (AlN-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), основанный на стимуляции твердотельного детектора излучением в оптическом диапазоне 470 нм и более (Fig.9, текст и Fig.10), измерении параметров дозиметрического сигнала оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) твердотельного детектора в диапазоне 260÷390 нм (фильтр U340, Fig.2, кривая 2) и вычислении площади под кривой дозиметрического сигнала, действующего в течение времени стимуляции детектора [Radiation Protection Dosimetry, Vol.92, No. 4, pp.299-306 (2000)].

Недостатки ОСЛ способа определения поглощенной дозы ионизирующего ультрафиолетового и бета-излучения в детекторе на основе нитрида алюминия

закljučаются в нелинейности его дозовой зависимости в представленном динамическом диапазоне детектора (Fig.13 в вышеуказанном источнике). Указанный факт приводит к снижению точности измерения поглощенной дозы и ограничивает применение таких детекторов в дозиметрии.

Задачей изобретения является обеспечение линейности дозовой зависимости, повышение точности измерений поглощенной дозы и расширение области применения в твердотельной дозиметрии ионизирующих излучений детекторов на основе монокристаллов нитрида алюминия.

Для решения поставленной задачи способ определения поглощенной дозы ионизирующего ультрафиолетового и бета-излучения в детекторе на основе нитрида алюминия, основанный на стимуляции детектора оптическим излучением с длиной волны 470 нм и более, измерении интенсивности оптически стимулированной люминесценции детектора в диапазоне 260-К390 нм в течение времени стимуляции детектора оптическим излучением и определении площади под полученной кривой интенсивности оптически стимулированной люминесценции, отличается тем, что в качестве детектора на основе нитрида алюминия используют монокристаллический нитрид алюминия, перед стимуляцией детектора осуществляют измерение значения интенсивности затухающей фосфоресценции детектора в диапазоне 260÷390 нм, с использованием измеренного значения интенсивности затухающей фосфоресценции определяют площадь под кривой интенсивности затухающей фосфоресценции, действующей в течение времени стимуляции детектора оптическим излучением, затем определяют разницу величин площадей под кривой интенсивности оптически стимулированной люминесценции и под кривой интенсивности затухающей фосфоресценции, а по указанной разнице величин площадей определяют значение искомой поглощенной дозы.

Новым техническим результатом изобретения является обеспечение линейности измерений в диапазоне величин доз от 75 до  $2 \cdot 10^4$  Дж/см<sup>2</sup> для ионизирующего ультрафиолетового излучения (Фиг.2) и от  $10^{-3}$  до 4 Гр для бета-излучения (Фиг.3), то есть увеличение диапазона линейности измеряемых доз в сравнении с прототипом. Повышается точность измерений поглощенной дозы. Расширяется область применения детекторов на основе нитрида алюминия в дозиметрии. Увеличивается арсенал способов определения поглощенной дозы ионизирующего ультрафиолетового и бета-излучения в твердотельном термолюминесцентном детекторе.

Увеличение диапазона линейности регистрируемых доз в предложенном способе обусловлено использованием в качестве детектора монокристаллического нитрида алюминия, а также учетом влияния величины затухающей фосфоресценции (сигнала послесвечения) на измерение величины поглощенной дозы. Последнее обеспечивается при реализации способа измерением интенсивности затухающей фосфоресценции детектора, определением площади под кривой затухающей фосфоресценции, действующей в течение времени стимуляции детектора, определением разницы величин площадей под кривыми оптически стимулированной люминесценции и затухающей фосфоресценции и определением по указанной разнице площадей значения искомой поглощенной дозы.

Измерение значения интенсивности затухающей фосфоресценции детектора производят в диапазоне 260÷390 нм для того, чтобы обеспечить сопоставимость этого измерения с измерением оптически стимулированной люминесценции, осуществляемым в этом же диапазоне. При измерении интенсивности затухающей фосфоресценции в областях длин волн, больших чем 390 нм или меньших чем 260 нм, происходит уменьшение точности определения поглощенной дозы ионизирующего излучения.

Изобретение поясняется тремя графиками.

Фиг.1 - зависимость (отн. ед., ось ординат) величины накапливаемой детектором дозы (кривая 1, период времени I), интенсивности фосфоресценции детектора (кривая 2, период времени II) и интенсивностей фосфоресценции и люминесценции детектора (соответственно, кривые 3 и 4, период времени III) от времени (t, ось абсцисс);  $t_1$  и  $t_2$  - это, соответственно, моменты времени начала и окончания облучения детектора ионизирующим ультрафиолетовым или бета-излучением,  $t_3$  и  $t_4$  - моменты времени начала и окончания воздействия на детектор стимулирующего оптического излучения;  $S_{\Phi}$  - площадь под кривой 3 интенсивности затухающей фосфоресценции, действующей в течение времени стимуляции детектора оптическим излучением;  $S_{OCL}$  - искомая светосумма оптически стимулированной люминесценции, освобожденной от влияния затухающей фосфоресценции (площадь, заключенная

между кривой 3 интенсивности затухающей фосфоресценции и кривой 4 интенсивности оптически стимулированной люминесценции).

Фиг.2 - полученная авторами с использованием предложенного способа зависимость интенсивности стимулированного излучения в относительных единицах (отн. ед., ось ординат) от величины поглощенной дозы в Дж/см<sup>2</sup> (ось абсцисс) при облучении детектора ионизирующим ультрафиолетовым излучением.

Фиг.3 - полученная авторами с использованием предложенного способа зависимость интенсивности стимулированного излучения в относительных единицах (отн. ед., ось ординат) от величины поглощенной дозы в Гр (ось абсцисс) при облучении детектора ионизирующим бета-излучением.

При реализации способа определения поглощенной дозы ионизирующего ультрафиолетового и бета-излучения в качестве твердотельного детектора используют образец монокристаллического нитрида алюминия, имеющего вюрцитный тип решетки, удельное сопротивление  $10^{11} \div 10^{13}$  Ом·см, теплопроводность 3,2 Вт/(см·К), концентрацию кислорода  $10^{17}$  см<sup>-3</sup>.

В качестве источника ультрафиолетового излучения при проверке предложенного способа и калибровке детектора использована, в частности, ртутная лампа ДРТ-230. В качестве источника бета-излучения использован радионуклид <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y с мощностью дозы в месте расположения детектора 32 мГр/мин.

Определение поглощенной дозы ионизирующего ультрафиолетового и бета-излучения ОСЛ-методом ведут с применением, например, спроектированных на платформе LabVIEW программных модулей для контроля и управления измерительным ОСЛ-каналом, а также виртуальных приборов, выполняющих первичную обработку экспериментальных данных [Бюшель М.С., Белоусова Е.Ю., Спиридонов Д.М., Вохминцев А.С., Вайнштейн И.А. Общероссийская электронная научная конференция на основе интернет-форума, <http://e-conf.nkras.ru/konferencii/econf/fizika.html>].

Перед использованием детектора на основе монокристаллического нитрида алюминия для измерения поглощенной дозы ультрафиолетового или бета-излучения проводится калибровка этого детектора (конкретного образца детектора), которая выполняется следующим образом. Детектор отжигается до температуры 500°С и облучается при комнатной температуре известной тестовой дозой D ультрафиолетового излучения или бета-излучения. Через 2-3 минуты хранения детектора в темноте измеряется кривая затухания фосфоресценции в течение времени 5 мин или более. При этом измерение интенсивности затухающей фосфоресценции ведут с помощью, например, фотоэлектронного умножителя ФЭУ-39А в счетном режиме, в диапазоне 260÷390 нм (фильтр U340).

Полученная зависимость интенсивности затухающей фосфоресценции от времени с помощью программного обеспечения Excel, Origin, MathCAD, Lab VIEW и др. аппроксимируется выражением

$$I_{\phi} = I_{\phi 0} \exp\left(-\frac{t}{\tau_{\text{зат}}}\right) \quad (1)$$

где

$I_{\phi}$  - интенсивность затухающей фосфоресценции, имп./с;

$I_{\phi 0}$  - значение интенсивности затухающей фосфоресценции перед стимуляцией детектора оптическим излучением, имп./с;

$t$  - время измерения интенсивности затухания фосфоресценции (разница времен  $t_3$  и  $t_4$  на фиг.1), с;

$\tau_{\text{зат}}$  - искомая постоянная затухания фосфоресценции, с.

Затем определяют постоянную затухания фосфоресценции  $\tau_{\text{зат}}$  с помощью полученного из формулы (1) выражения (2):

$$\tau_{\text{зат}} = -\frac{t}{\ln \frac{I_{\phi}}{I_{\phi 0}}} \quad (2)$$

После облучения детектора известной тестовой дозой D с помощью предложенного способа выполняют регистрацию калибровочного оптически стимулированного сигнала, по параметрам которого оценивается чувствительность детектора, то есть определяется коэффициент пропорциональности  $k$  между дозой облучения D и светосуммой  $S_{\text{ОСЛ}}$  оптически стимулированной люминесценции ( $D=k \cdot S_{\text{ОСЛ}}$ ). На этом заканчивается калибровка детектора. Следует отметить, что при облучении детектора

ультрафиолетовым излучением определяют постоянную затухания фосфоресценции  $\tau_{\text{зат}}$  и коэффициент пропорциональности  $k$ , полученные при калибровке детектора для измерения дозы ультрафиолетового излучения, а при облучении детектора бета-излучением определяют постоянную затухания фосфоресценции  $\tau_{\text{зат}}$  и коэффициент пропорциональности  $k$ , полученные при калибровке детектора для измерения дозы бета-излучения.

Способ определения поглощенной дозы ионизирующего ультрафиолетового или бета-излучения в твердотельном детекторе на основе монокристаллического нитрида алюминия осуществляют следующим образом.

Перед стимуляцией детектора на основе монокристаллического нитрида алюминия, облученного ионизирующим ультрафиолетовым или бета-излучением, осуществляют измерение значения  $I_{\phi 0}$  интенсивности затухающей фосфоресценции (сигнала послесвечения) детектора. Целесообразно измерять значение интенсивности затухающей фосфоресценции за несколько секунд до стимуляции, как правило, за  $1 \div 5$  с, хотя можно проводить эти измерения и за  $6 \div 10$  или более секунд перед стимуляцией. Однако с увеличением указанного времени растет погрешность определения величины дозы ионизирующего излучения, поглощенного детектором.

Измерение значения  $I_{\phi 0}$  интенсивности затухающей фосфоресценции, как указано выше, ведут с помощью, в частности, фотоэлектронного умножителя ФЭУ-39А в счетном режиме, в диапазоне  $260 \div 390$  нм, выделяемом с помощью фильтра U340.

По измеренному значению  $I_{\phi 0}$  интенсивности затухающей фосфоресценции и постоянной времени затухания  $\tau_{\text{зат}}$  определяют площадь под кривой затухающей фосфоресценции, действующей в течение времени стимуляции детектора оптическим излучением. Расчет площади  $S_{\phi}$  под кривой затухающей фосфоресценции (кривая 3 на фиг.1) производится по формуле

$$S_{\phi} = \int_{t_3}^{t_4} I_{\phi 0} \exp\left(-\frac{t}{\tau_{\text{зат}}}\right) dt \quad (3)$$

где

$S_{\phi}$  - площадь под кривой затухающей фосфоресценции, имп.;

$I_{\phi 0}$  - значение интенсивности затухающей фосфоресценции перед стимуляцией облученного детектора, имп./с;

$\tau_{\text{зат}}$  - постоянная времени затухания фосфоресценции, с;

$t_3$  - момент времени, соответствующий началу стимуляции облученного детектора (включение источника оптического излучения), с;

$t_4$  - момент времени, соответствующий окончанию стимуляции облученного детектора (выключение источника оптического излучения), с;

$t$  - текущее время измерения, с.

Величина постоянной времени затухания фосфоресценции  $\tau_{\text{зат}}$  определена ранее, при калибровке детектора. Однако значение постоянной времени затухания фосфоресценции может быть получено также при измерении величины интенсивности затухающей фосфоресценции перед стимуляцией детектора оптическим излучением, после облучения детектора ионизирующим ультрафиолетовым или бета-излучением, дозу которого требуется определить.

Затем облученный измеряемым ионизирующим ультрафиолетовым или бета-излучением детектор подвергают стимуляции оптическим излучением с длиной волны 470 и более нм. В качестве источника излучения стимуляции используют, например, твердотельные лазеры с диодной накачкой, в частности красный лазер с длиной волны 650 нм, или зеленый лазер с длиной волны 532 нм, или голубой лазер с длиной волны 473 нм. Могут быть использованы также светодиоды и лампы с фильтром, пропускающим излучение с длиной волны 470 и более нм. При этом в месте расположения детектора должна быть обеспечена интенсивность излучения не менее  $5 \text{ мВт/см}^2$ .

В процессе стимуляции детектора измеряют интенсивность оптически стимулированной люминесценции (кривая 4 на фиг.1). Это измерение производят в диапазоне  $260 \div 390$  нм, выделяемом с помощью фильтра U340, с помощью фотоэлектронного умножителя ФЭУ-39А, работающего в счетном режиме, суммированием числа импульсов в секунду фотоэлектронного умножителя за время оптической стимуляции детектора.

Фактически по результатам измерения кривая 4 (фиг.1) представляет величины интенсивности дозиметрического сигнала, равные суммам величин интенсивностей

двух одновременно действующих дозиметрических сигналов - люминесценции и фосфоресценции. То есть по результатам этого измерения определяется светосумма  $S$ , в которую входят светосумма  $S_{\Phi}$  (площадь под кривой затухающей фосфоресценции) и светосумма  $S_{ОСЛ}$  (площадь под кривой оптически стимулированной люминесценции, освобожденной от влияния затухающей фосфоресценции). Таким образом,  $S = S_{\Phi} + S_{ОСЛ}$ .

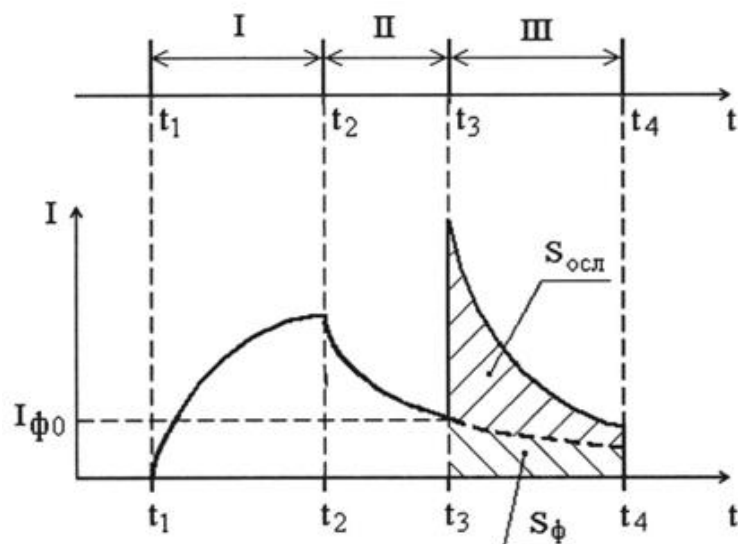
Затем определяют разницу полученных величин площадей (светосумм):  $S$  и  $S_{\Phi}$ . Эта разница площадей характеризует светосумму  $S_{ОСЛ}$  для оптически стимулированной люминесценции ( $S_{ОСЛ} = S - S_{\Phi}$ ), освобожденную от влияния затухающей фосфоресценции. По величине  $S_{ОСЛ}$  определяют искомое значение поглощенной дозы  $D$  ( $D = k \cdot S_{ОСЛ}$ ).

При измерении дозы ультрафиолетового излучения используют постоянную затухания фосфоресценции  $\tau_{зат}$  и коэффициент пропорциональности  $k$ , полученные при калибровке для измерения дозы именно ультрафиолетового излучения, а при измерении дозы бета-излучения используют постоянную затухания фосфоресценции  $\tau_{зат}$  и коэффициент пропорциональности  $k$ , полученные при калибровке для измерения дозы бета-излучения.

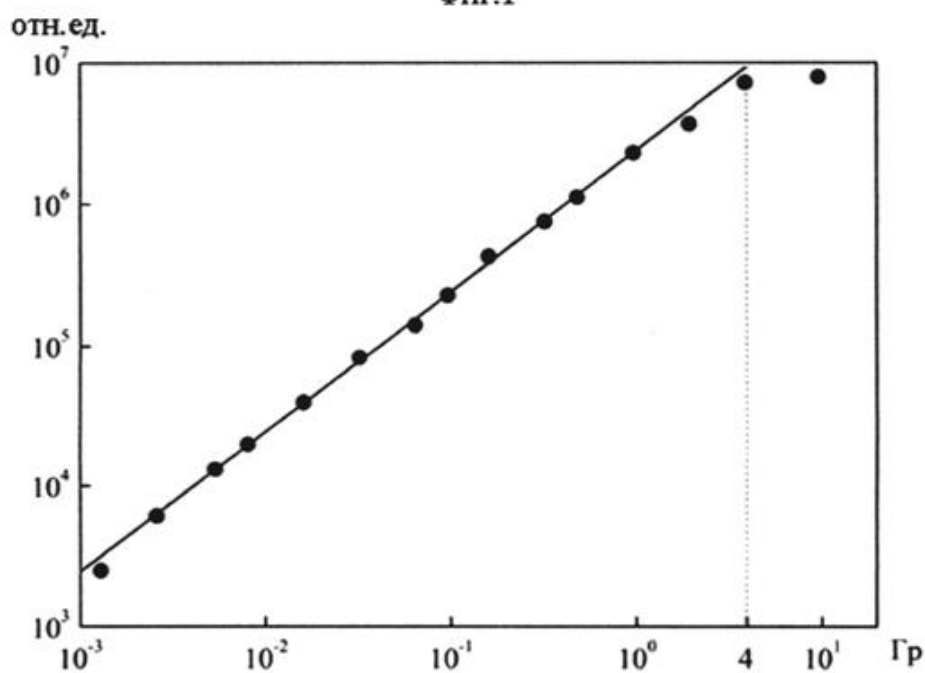
Результаты определения поглощенной дозы ионизирующего ультрафиолетового или бета-излучения в детекторе на основе монокристаллического нитрида алюминия, подтверждающие линейность измерений в диапазоне величин доз от 75 до  $2 \cdot 10^4$  Дж/см<sup>2</sup> для ионизирующего ультрафиолетового излучения и от  $10^{-3}$  до 4 Гр для бета-излучения, приведены в виде точек на фигурах 2 и 3.

#### Формула изобретения

Способ определения поглощенной дозы ионизирующего ультрафиолетового или бета-излучения в детекторе на основе нитрида алюминия, основанный на стимуляции детектора оптическим излучением с длиной волны 470 и более нм, измерении интенсивности оптически стимулированной люминесценции детектора в диапазоне 260÷390 нм в течение времени стимуляции детектора оптическим излучением и определении площади под полученной кривой интенсивности оптически стимулированной люминесценции, отличающийся тем, что в качестве детектора на основе нитрида алюминия используют монокристаллический нитрид алюминия, перед стимуляцией детектора осуществляют измерение значения интенсивности затухающей фосфоресценции детектора в диапазоне 260÷390 нм, с использованием измеренного значения интенсивности затухающей фосфоресценции определяют площадь под кривой интенсивности затухающей фосфоресценции, действующей в течение времени стимуляции детектора оптическим излучением, затем определяют разницу величин площадей под кривой интенсивности оптически стимулированной люминесценции и под кривой интенсивности затухающей фосфоресценции, а по указанной разнице величин площадей определяют значение искомой поглощенной дозы.



Фиг.1



Фиг.3

## ИЗВЕЩЕНИЯ

**ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе**

Дата прекращения действия патента: **05.12.2014**

Дата публикации: [10.09.2015](#)